

## Umelá zát'az s digitálnym riadením

(podporuje funkcie: konštantný prúd, konštantný výkon, konštantný odpor, impulzný odpor, vybíjanie konštantným prúdom, vybíjanie konštantným výkonom, komunikácia s nadriadeným počítačom)

### Úloha

1. Podľa predloženej schémy zapojenia navrhnete motív plošného spoja.
2. Navrhnutý motív plošného spoja preneste na dosku plošného spoja.
3. Plošný spoj vyrobte.
4. Osad'zte súčiastky.
5. Zariadenie ožívte.

### Úvod

V praktickej časti budete stavať umelú zát'az s digitálnym riadením a počítačovou komunikáciou.

K dispozícii máte obojstranné dosky plošných spojov potiahnuté fotocitlivou vrstvou o veľkosti 150x200 mm. Motív plošného spoja sa dá pohodlne navrhnuť aj na jednostrannú dosku s prepokami. Druhú stranu nemusíte využiť vôbec, použiť na rozvod napájania (napr. zem), alebo využiť ako plnohodnotnú druhú vrstvu. Prechody z vrchnej na spodnú stranu sa budú realizovať zaspájkovaným drôtom vo vyvítanej diere. Presná veľkosť Vášho návrhu plošného spoja nie je daná, z materiálu použijete toľko, koľko potrebujete.

Súbory so schémou pre návrhový systém Eagle si stiahnete z <http://www.cern.ch/zenit>

Hotový projekt pomenujte Vaším súťažným číslom (napr. A01.brd, A01.sch) a nahrajte ho do úložiska (kliknutím na linku v pdf).

**Použitie autoroutra je na súťaži zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.**

Konštrukcie zo ZENIT-u sú u študentov veľmi populárne napríklad ako praktické maturity. Radi by sme Vás upozornili, že ide o chránené autorské dielo a na prebratie akejkoľvek jeho časti do Vašej maturitnej, alebo inej práce je nutné mať súhlas autorov (kontakt na konci dokumentu) a dielo správne citovať s uvedením plnej referencie zdroja.

### Hodnotenie

Za praktickú časť možno získať maximálne 80 bodov. Hodnotenie praktickej časti je nasledovné:

- Návrh plošného spoja maximálne 20 bodov
- Kvalita spájkovania maximálne 15 bodov
- Čistota vyhotovenia maximálne 5 bodov
- Funkcia zhotoveného zapojenia maximálne 40 bodov, z toho (kategória B/kategória A):
  - Výkonová časť 10/10 bodov
  - Referencia a DAC 10/10 bodov
  - AD prevodník a meranie napätia/prúdu 10/5 bodov
  - Blok riadenia ventilátora --/10 bodov
  - Stabilizátor 5V 10/5 bodov

Celková kvalita návrhu dosky (rozmiestnenie súčiastok, elektrická kvalita dosky, návrh motívu, počet a rozmiestnenie prepajok, celková veľkosť dosky...) sa hodnotí v rámci parametra „Návrh plošného spoja“.

**Kategória B nemusí navrhovať a osadzovať blok riadenia ventilátora.** Ak ho neplánujete neskôr doma osadzovať, môžete ho posunúť mimo fóliu, alebo úplne vymazať...

## Popis zapojenia

Umelá záťaž, ktorú dnes staviate ponúka prevádzku v režime spotrebiča konštantného prúdu, spotrebiča konštantného výkonu, syntetizuje konštantný odpor, syntetizuje impulzný odpor, a umožňuje vybíjanie článkov konštantným prúdom, alebo konštantným výkonom až do dosiahnutia prednastaveného minimálneho napätia. Maximálne vstupné napätie je 40 V, maximálny prúd 5A. Obidva parametre sú ľahko škálovateľné. S pochopením elektrickej funkcie záťaže je jednoduché zvýšiť pracovné napätie (s použitými tranzistormi až do 100 V), prípadne výrazne zvýšiť prúdovú zaťažiteľnosť (desiatky až stovky A). Pre zvýšenie dynamického rozsahu je zapojenie navrhnuté s dvoma prúdovými rozsahmi, nízky 0-650 mA a vysoký 0,6-5 A.

Zapojenie umelej záťaže funguje na princípe napätím riadeného zdroja prúdu. V našom prípade obvod prúd negeneruje, ale spotrebovávajú, takže sa jedná o tzv. prúdovú noru (anglicky current sink). Funkciu vysvetlíme na nízko prúdovom rozsahu. Na neinvertujúci vstup precízneho operačného zosilňovača IC1A je privedené referenčné napätie. Operačný zosilňovač riadi vodivosť výkonového tranzistora T10 tak, aby úbytok napätia na bočníku  $R_{\text{bočník}} = R32|R33|R34$  bol rovnaký ako referenčné napätie  $U_{\text{ref}}$ . Tým sa udržiava konštantný prúd tranzistorom  $I_{T10} = I_{\text{vstupný}} = U_{\text{ref}} / R_{\text{bočník}}$ . Tento prúd závisí len od hodnoty referenčného napätia a odporu bočníku. Je nezávislý od vstupného napätia, ako aj parametrov použitých výkonových tranzistorov.

**V režime konštantného prúdu** je riadiace napätie  $U_{\text{ref}}$  konštantné a generuje sa pomocou napäťovej referencie IC3 a B-kanála číslicovo-analógového prevodníka IC2. Integrovaný obvod MCP4922-E/SL je tzv. string-DAC prevodník, čo nie je nič iné ako číslom riadený napäťový delič (potenciometer) s  $2^{12}$  odbočkami. V režime konštantného prúdu je A-kanál prevodníka vypnutý, pre obvod predstavuje vysokú impedanciu. Mikrokontrolér na základe požadovanej hodnoty prúdu zvolí prúdový rozsah (nízky/vysoký), a vypočíta hodnotu N, ktorú naprogramuje do B-kanála prevodníka.

Na displeji kontroléra je zobrazená hodnota požadovaného prúdu a namerané hodnoty vstupného napätia, pretekajúceho prúdu a vypočítané hodnoty stratového výkonu a ekvivalentného zaťažovacieho odporu. Režim konštantného prúdu je realizovaný čisto analógovo, takže regulácia prúdu reaguje na zmenu vstupného napätia okamžite.

**Režim konštantného odporu.** Ak odvodíme hodnotu požadovaného prúdu prúdovej nory od vstupného napätia na svorkách prístroja, obvod sa bude správať ako syntetický rezistor s hodnotou  $R_{\text{vstupný}} = U_{\text{vstupné}} / I_{\text{vstupný}} = k * R_{\text{bočník}}$ , kde k je konštanta, ktorá vyjadruje deliaci pomer medzi napätím na vstupe prístroja  $U_{\text{vstupné}}$  a napätím na neinvertujúcom vstupe operačného zosilňovača IC1A,  $U_{\text{ref}}$ . Nie je zložité odvodiť konkrétnu hodnotu konštanty pre náš obvod.  $k = 1/(N/2^{12} * 1/10)$ , kde N je číslo naprogramované do kanála A, DA prevodníka IC2, a 1/10 je deliaci pomer deliča  $R3/(R1+R2+R3)$ . B-kanál DA prevodníka je v režime konštantného odporu vypnutý. Pozorný čitateľ si určite všimne, že syntetizovaná hodnota vstupného odporu prístroja je násobok hodnoty referenčného rezistora a je nezávislá od priloženého napätia, alebo pretekajúceho prúdu.

Režim konštantného odporu je realizovaný čisto analógovo, takže regulačná slučka reaguje na zmenu vstupného napätia okamžite. Mikrokontrolér na základe zvolenej hodnoty odporu zvolí ktorý referenčný bočník sa použije (pre  $R_{\text{vstupný}} < 12 \Omega$  sa používa nízkoohmový), a priebežne na základe zameraného vstupného napätia a zvolenej hodnoty odporu vyhodnocuje pretekajúci prúd a používa patričný prúdový rozsah (nízky/vysoký). Na displeji sa zobrazujú namerané hodnoty vstupného napätia, pretekajúceho prúdu a vypočítané hodnoty stratového výkonu a ekvivalentného zaťažovacieho odporu.

**Režim impulzného odporu** je rovnaký ako režim konštantného odporu. Mikrokontrolér priebežne programuje požadované hodnoty odporu s požadovaným trvaním (časové rozlíšenie 10 ms, max. 999 s).

**Režim konštantného výkonu** využíva režim konštantného odporu s dynamicky aktualizovanou hodnotou požadovaného odporu. Mikrokontrolér približne 5x za sekundu meria vstupné napätie, z neho a požadovaného stratového výkonu vypočíta hodnotu ekvivalentného odporu a túto priebežne programuje do záťaže. Regulácia výkonu je čisto softvérová, takže v prevádzke je nutné zohľadniť, že prístroj je schopný reagovať na meniace sa vstupné napätie nie rýchlejšie ako 3-5x za sekundu. Na displeji sa zobrazujú namerané hodnoty vstupného napätia, pretekajúceho prúdu a vypočítané hodnoty stratového výkonu a ekvivalentného zaťažovacieho odporu.

**Režim vybíjania konštantným prúdom, alebo režim vybíjania konštantným výkonom** sú implementované v software. Využívajú vyššie popísané základné funkcie, navyše ale umožňujú odpojiť záťaž po dosiahnutí minimálneho nastaveného napätia. Regulácia vybíjania je softwarová s vyššie spomínanými limitáciami. Na displeji sa zobrazujú namerané hodnoty napätia a prúdu, takisto aj množstvo

spotrebovanej energie a čas vybíjania. Vybíjanie je možné aktivovať/prerušiť stlačením tlačidla na riadiacej doske.

Riadiaci software zátáže komunikuje s nadriadeným počítačom formou štandardných SCPI príkazov, prístroj sa dá použiť napríklad v automatizovaných meraciach systémoch, alebo je možné ukladať dáta o vybíjacích charakteristikách článkov. Detaily nájdete v dokumentácii ku riadiacemu modulu.

Výkonové tranzistory pracujú v lineárnom režime. V prípade, že sa rozhodnete upraviť výkonovú časť (napríklad pre vyšší prúd), používajte „analogové“ tranzistory, ktoré majú vyššiu hodnotu  $R_{DSon}$ . Moderné spínacie MOSFET tranzistory s  $R_{DSon}$  v mili-Ohmovej oblasti nie sú vhodné. Pri prevádzke v lineárnom režime hrozí aktivácia parazitného substrátového tranzistora a MOSFET sa zničí už pri zlomku maximálneho pracovného napätia.

V zapojení sú použité štandardné rezistory s toleranciou 1, alebo 5%, snažili sme sa vybrať také, ktoré majú teplotný koeficient 100ppm/C. Ak nevyžadujete vysokú presnosť merania, zapojenie bude fungovať aj bez kalibrácie. Jednoduchou kalibráciou odporových deličov a hodnoty bočníkov môžete zvýšiť presnosť všetkých meraní na úroveň 0,1% (kalibračné konštanty sa aktualizujú v programe). Celkovú presnosť a stabilitu prístroja je možné ďalej zvýšiť použitím stabilnejších (drahších) rezistorov.

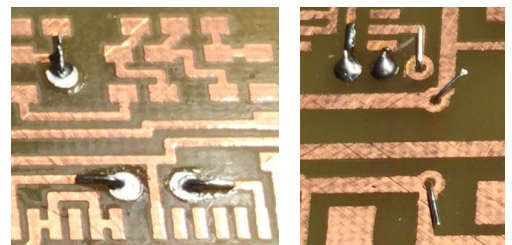
## Poznámky k návrhu plošného spoja

Pozorne si prečítajte nasledovné inštrukcie, majú priamy vplyv na Vašu úspešnosť a bodové hodnotenie:

- **Použitie autoroutra je zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.**
- **Návrh plošného spoja v pravidelných intervaloch ukladajte.**
- **Na strane súčiastok nepoužívajte polygóny**, polygón na rozvod napájania na druhej strane dosky je povolený.
- **Všetky súčiastky aj drôtové prepojký musia byť osadené na jednej strane plošného spoja.**
- Jednostranné dosky sa nevrtajú.
- Vodičmi vo výkonovej časti tečie vysoký prúd, použite dostatočne široké a čo najkratšie vodiče (1,5 mm široký spoj má odpor 3,3 mΩ/cm!).
- Bočníky majú nízku hodnotu odporu, ktorá zodpovedá len pár centimetrom vodiča na plošnom spoji. Rešpektujte naznačený spôsob pripojenia ku GND a umiestnenie prívodov od vstupných svoriek.
- Rezistory R10, R11, R12, R17 musia byť umiestnené priamo pri elektróde GATE výkonových tranzistorov T7, T8, T9, T10 inak začnú oscilovať a zhoria
- Dosku navrhnete tak, aby sa výkonové tranzistory dali ľahko a priamo primontovať na chladič
- Aby ste vedeli správne priložiť film na dosku, vždy umiestnite do návrhu dostatočne dlhý čitateľný text. Doporučujeme „STRANA SÚČIASTOK“ do vrstvy TOP a „STRANA SPOJOV“ do vrstvy BOTTOM. Tento text musí byť čitateľný aj na priloženej fólii.
- Súčiastky a spoje musia byť umiestnené v rovnakej vrstve, inak nebudú prepojené, alebo budú zrkadlovo otočené (...v Eagle musia mať rovnakú farbu)
- Doporučená šírka spoja a medzery je min. 0,6mm. Veľmi krátke spoje sa dajú realizovať aj 0,4mm

Ak vyrábate obojstrannú dosku:

- Do troch rohov umiestnite a vyvrtajte otvory, aby ste vedeli presne zarovnať fólie pre stranu spojov a stranu súčiastok
- Doporučený spôsob prechodu medzi vrstvami obojstrannej dosky je „prekovená“ diera (v Eagle Via), priemer vrtáku 0,6-0,8mm, priemer plošky min. 2,2mm. Do diery sa z oboch strán vloží, zafixuje a zaspájkuje krátky drôt, vid. fotografie



## Oživenie a odovzdanie konštrukcie

Súťažiaci majú k dispozícii oživovacie pracovisko, kde môžu svoj výrobok pred odovzdaním otestovať. Problémy, ktoré súťažiaci zistia a opravia **pred oficiálnym odovzdaním výrobku** sa do hodnotenia **nezapočítavajú**. Problémy, ktoré sa zistia **pri oficiálnom odovzdaní** hodnotiacej komisii sa do finálneho hodnotenia **započítavajú**.

Zapojenie je navrhnuté modulárne a jednotlivé bloky sa dajú oživiť aj samostatne. V prípade časovej tiesne nemusíte navrhovať alebo osadzovať kompletný plošný spoj. Výrobok bude možné oživiť aj po častiach. Súťažiacemu sa podľa stupňa rozpracovanosti stále udelia body za dokončenú a funkčnú prácu.

Pre prvotné oživenie je nutné pripojiť napájacie napätia +12 V (limit 500 mA), -5 V (limit 100 mA) a plochým káblom riadiaci modul s nahraným ovládacím programom. Vstupné svorky IN+ a IN- nechajte zatiaľ nepripojené. Po zapnutí napájania sa rozsvieti podsvietenie LCD. Trimrom na riadiacej doske nastavte kontrast displeja tak, aby sa dal čítať text. Pomocou tlačidla pracovného režimu (MODE) nastavte mód konštantného prúdu.

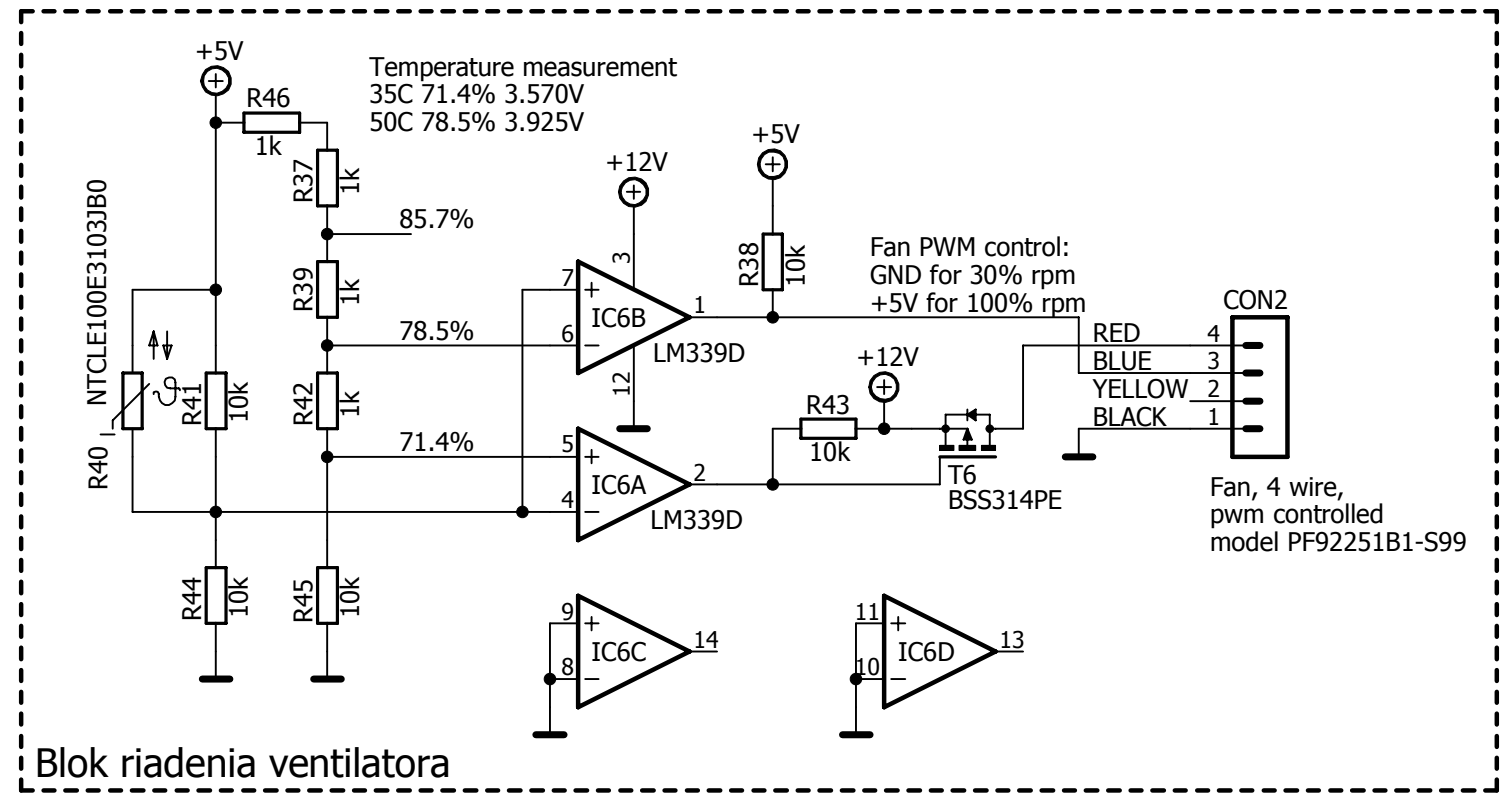
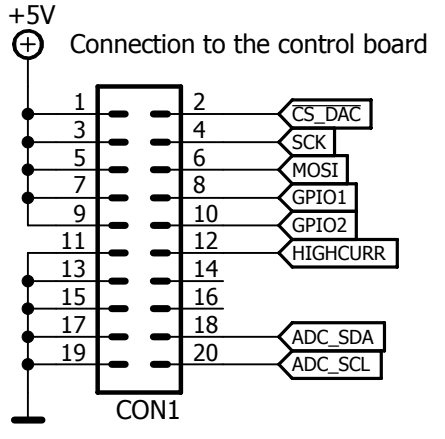
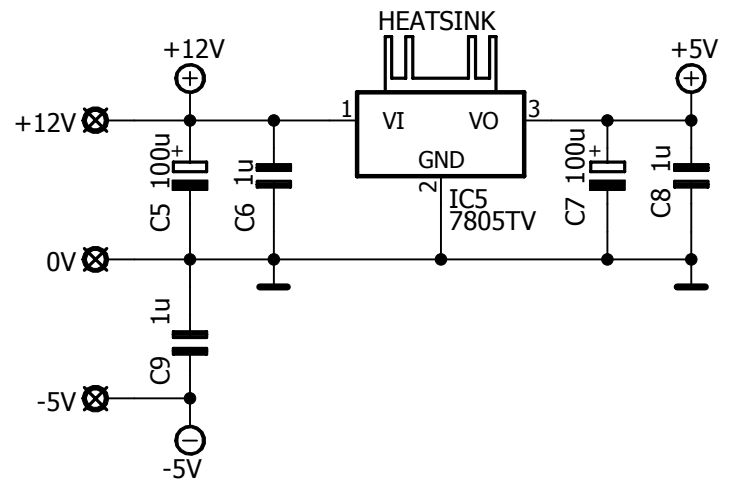
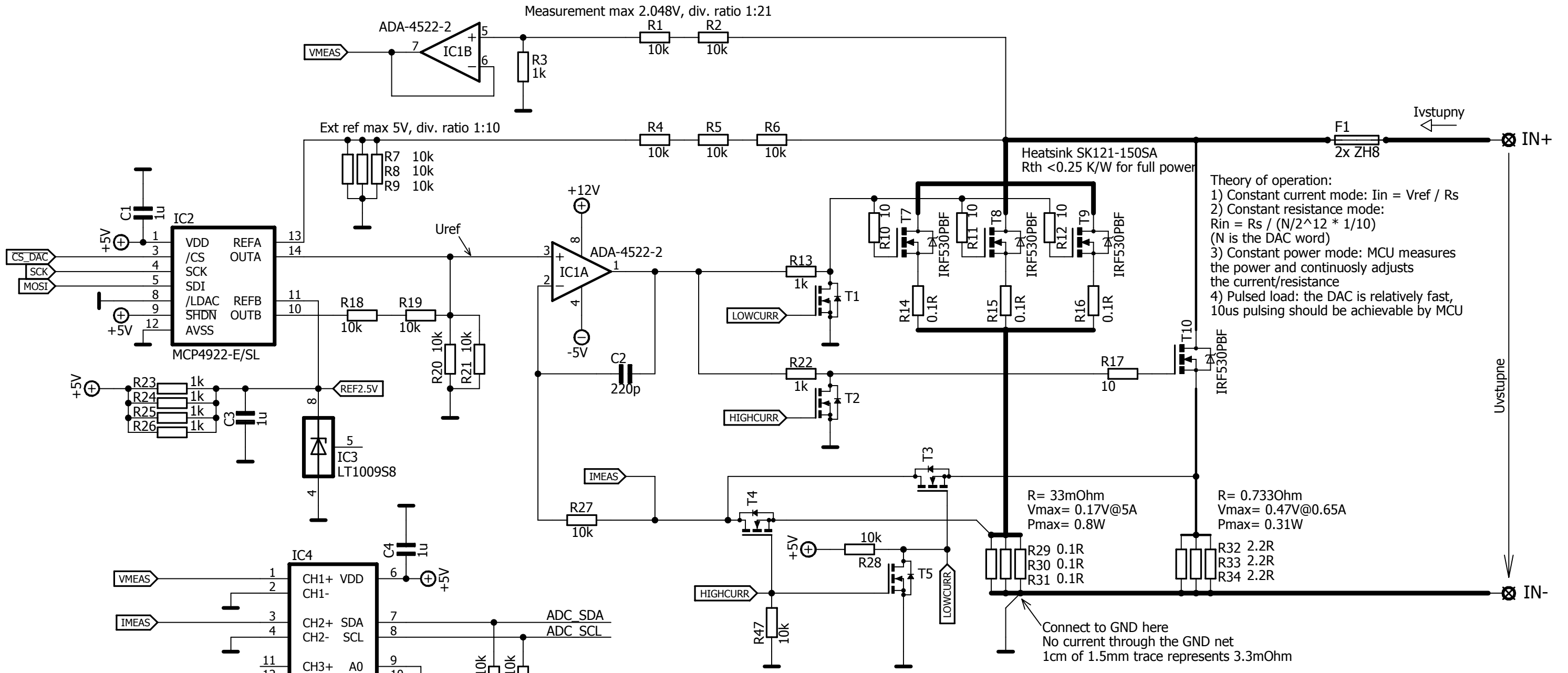
Na napájacom zdroji nastavte napätie 2 V a pripojte ho ku svorkám IN+ a IN-. Ak záťaž správne funguje, na displeji by sa malo zobrazit' odmerané napätie na svorkách IN+ a IN- a pretekajúci prúd, ktorý by mal byť rovný nastavenému prúdu.

## Zoznam súčiastok

Súčiastka	Hodnota	Poznámka
C1, C3, C4, C6, C8, C9	1u, 1206	
C2	220p, 1206	
C5, C7	100u, 16-25V	Tantal D
CON1	2x20 pinov	Pinová lišta SMD
CON2	1x4 piny	Pinová lišta SMD
F1	6,3A rýchla ZH8	Poistka typ 021606.3MXP v držiaku ZH8
FAN	PF92251B1-000U-S99	Ventilátor 12VDC, axiálny, PWM riadenie. <b>Nepripájať!</b>
HEATSINK	SK121-150SA	Chladič, pre plnú výkonovú kapacitu max. 0.25 K/W. <b>Nemontovať!</b>
IC1	ADA-4522-2	Ultra-precízny operačný zosilňovač
IC2	MCP4922-E/SL	Dual 12-Bit DAC with SPI Interface and external reference
IC3	LT1009S8	2.5V Reference
IC4	MCP3428-E/SL	16-Bit, Analog-to-Digital Converter with Reference
IC5	L7805CV	Stabilizátor napätia 5V
IC6	LM339AD	Quad Comparators
R1, R2, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R18, R19, R20, R21, R27, R28, R35, R36, R38, R41, R43, R44, R45, R47	10k, 1206	
R10, R11, R12, R17	10, 1206	
R14, R15, R16, R29, R30, R31	0.1R, veľkosť 2512	Rezistor: 100mΩ; 1W; ±1%; ±100ppm/C. Typ CS121WF100LT2E
R3, R13, R22, R23, R24, R25, R26, R37, R39, R42, R46	1k, 1206	
R32, R33, R34	2.2R, veľkosť 2512	Rezistor: 2.2Ω; 2W; ±5%; ±100ppm/C, typ WF25P2R2JTL
R40	NTCLE100E3103JB0	Termistor NTC 10k. <b>Osadiť pinovú lištu 2x1, termistor sa pripojí vodičmi!</b>
T1, T2, T3, T4, T5	2N7002	Small signal N-MOSFET
T6	BSS314PE	Small signal P-MOSFET
T7, T8, T9, T10	IRF530PBF	100V, 14A, 80W, 0.16Ω, N-MOSFET

Autori:

Ing. Daniel Valúch, PhD., [daniel.valuch@cern.ch](mailto:daniel.valuch@cern.ch), Adam Lassak, Martin Petrek



Blok riadenia ventilatora